

研究ノート

長翅目昆虫の斑紋解析と多様性
ーフィールドにおける自然科学教育の実践例ー

星 野 啓 太

はじめに

野外に出かけて生き物を観察してみれば、普段見過ごしていた様々なことに気付かされる。そして、このときに抱いた感情こそが自然科学への関心の第一歩となるのではないだろうか。例えば、どんぐりに形の違いを見出したなら、どんぐりの樹に種類のあること、延いては多様性の概念に通ずるものである。また、木の枝に小鳥がさえずり、草花に虫の姿を認めたならば、ある環境に生息する生物をまとめて考える生態系のとらえ方に類似してくる。一般的に、フィールドにおける生物の観察は、自然科学教育に適した手法であるはずだが、はたして、どのように寄与できるのか改めて考えてみる価値はあると思われる。なぜなら、日常的に接する科学情報があまりにも専門的になり、古典的なフィールド観察とあまりにかけ離れているように感じられるからである。そこで、“進化・生物多様性”を様々なレベルで理解するために、フィールド観察がどのように結びついたか、検証を試みることにした。

筆者は、成城大学の共通教育科目である短期学外演習において、フィールドにおける自然科学教育に携わる機会があり、その際に、専門の昆虫を観察の対象として実践してきた。例えば、大学付属施設ならびにその周辺地域における観察では、道端に群を成したカラムシ（イラクサ科の草本植物）を眺めると、エキゾチックな模様のカミキリムシの1種、ラミーカミキリが見出された。この種は、江戸時代に帰化したとされ、侵入地の長崎から分布拡大し、1990年代には北陸・関東で北進に関する報告も増えたが（星野，2011）、この地周辺では、すでに1950年代から記録があり（穂積，1977）、おそらくは古くから持続されてきた個体群

と思われる。一方、水田の脇に流れる小川の石をめくると、たくさんの川虫（カゲロウ・トビケラ等の若虫の総称）が発見できる。その中には、ひときわ立派なムカデ様の虫も含まれており、孫太郎虫（山東京伝の戯作に由来するらしい；池田，1992）と称されるヘビトンボの幼虫である。このように、観察に適した昆虫の候補はたくさん挙げることができるが、気象条件に大きく左右され、曇天の場合にはカミキリムシも身を隠しており、雨天時の小川における観察も危険であるなど、実際には観察対象が極めて限定される場面に遭遇することとなった。ところが、この悪条件でも姿を現してくれる昆虫にシリアゲムシが挙げられる。シリアゲムシは、分類学的には長翅目（order Mecoptera）に属する昆虫の1グループで、英名は、scorpionfly で、サソリのようなはさみ状の尾端部が持ちあがっているのが特徴であり、これが和名の由来となったと考えられる。実際に、シリアゲムシは曇天でも観察しやすいという利点のみにとどまらず、この虫自体の興味深い形態・生態的特徴や、今回、偶然採集された異常型（abnormal form）個体によって、翅の斑紋の変異に着目し、進化や遺伝子レベルの多様性についての理解を深める結果を生み出すこととなった。そこで、本研究ノートでは、フィールドにおける自然科学教育において見出されたシリアゲムシの斑紋解析と多様性に関する一考察および教育実践の一例としての考察も同時にまとめるものである。

方法

短期学外演習におけるフィールド観察時に、目視（looking）によって発見した長翅目昆虫について観察と採集を行った。当該観察は2010年から2012年の3年間にのべ6回（2010年5月22—23日；2011年5月28—29日；2012年5月26—27日）行った。観察地点は、神奈川県伊勢原市西富岡の成城大学伊勢原総合グラウンド周辺（伊勢原グラウンド）ならびに神奈川県伊勢原市日向（日向薬師）の2か所を選択した。また、同演習における山梨県北杜市（八ヶ岳山麓）でのフィールド観察時にも偶然発見できた個体を採集した。すべての採集個体は、pinning（針を刺すこと）および展翅により乾燥標本を作製した後にラベル付随で、筆者の個人所蔵（private collection of K. Hoshino: PCKH）として保管した。これらの標本

を形態観察に供し、種の同定は、いくつかの文献（一色，1950；宮本，1993）を参考に行った。翅脈（wing vein）、翅紋（wing pattern）は、翅の写真を撮影して比較研究に用いた。また、同時に、遺伝子の配列情報を基にした分子系統学的解析を将来実施できるように、得られた標本の一部はエタノール液浸標本としても保管した。

結果

採集した長翅目昆虫は3種で、採集データは以下のとおりである。

Panorpa pryeri MacLachlan, 1875（和名：プライアシリアゲ）

1♂, 3♀: Seijo University, Isehara C., Kanagawa Pref., JAPAN, May 27th, 2012, Coll. Keita Hoshino (PCKH).

Panorpa japonica Thunberg, 1784（和名：ヤマトシリアゲ、シリアゲムシ）

1♂: Hinata, Isehara C., Kanagawa Pref., JAPAN, May 22nd, 2010, Coll. Keita Hoshino (PCKH).

1♂, 1♀(abnormal form): Seijo University, Isehara C., Kanagawa Pref., JAPAN, May 27th, 2012, Coll. Keita Hoshino (PCKH).

Panorpa lewisi MacLachlan, 1887（和名：ツマグロシリアゲ）

1♂: Mt. Yatsugatake (foot), Hokuto C., Yamanashi Pref., JAPAN, Aug. 10th, 2012, Coll. Keita Hoshino (PCKH).

フィールド観察の結果、シリアゲムシの形態的特徴をまとめることができた。すなわち、昆虫の基本的体制に加えて、細く伸長した口器と雄尾端部に発達したはさみ状の把握器（外部生殖器の一部）を有するところに最大の特徴が見出された（図1）。また、翅の模様の比較研究のために必要な翅脈（横脈は除く）・翅紋の名称を、いくつかの文献（一色，1950; Cheng, 1957; Grimaldi& Engel, 2005）を基に前翅について整理した（図2）。その結果、プライアシリアゲ4個体では、

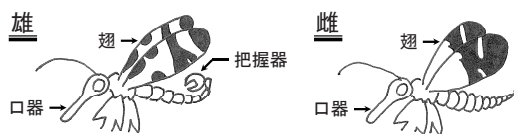


図 1. シリアゲムシの体制とその特徴

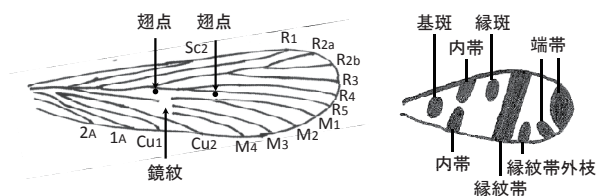


図 2. シリアゲムシ前翅を特徴づける要素

A: プライアシリアゲ



B: ヤマトシリアゲ



C: ツマグロシリアゲ



図 3. 伊勢原・八ヶ岳産シリアゲムシの標本写真

同じ斑紋パターンではあるが、各帯および枝（図 2 参照）の発現の有無、その強さに違いが見られた。例えば、緑紋帯外枝と端帯内枝は、個体によって両方を発現するものから、片方のみ、さらには両方を消失するものまで確認できた（図 3-A：標本の背面写真の右側半分を图示）。次に、ヤマトシリアゲ異常型個体では、翅脈の長さや暗褐色の翅紋が翅端に向かうほど萎縮していたが（図 3-B）、各翅脈に相当するものは欠如することなくすべて認められた（図 4-A：通常型（左）；

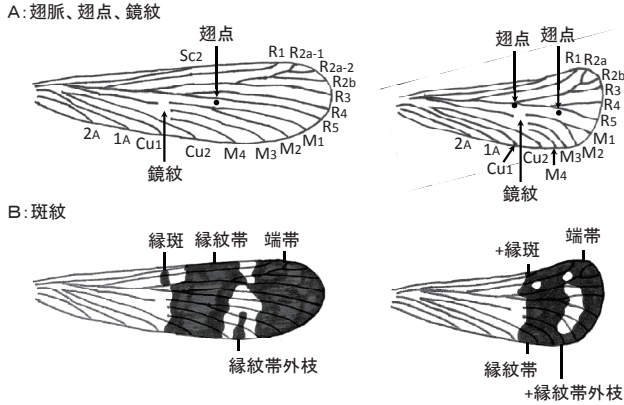


図4. ヤマトシリアゲ異常型前翅の比較解析

異常型 (右))。また、ヤマトシリアゲには nygma (翅上に存在する点状の構造物、本稿では“翅点”と称する) と思われる黒斑と thyridium (しばしば翅脈の分岐点に生じる着色の抜けたスポットで、“鏡紋”と呼ばれる) が確認でき、異常型においても翅脈の位置関係的に見ると通常個体と同じ位置に生じていた (図4-A)。つまり、2つ確認できる翅点は、翅脈 M の M_1 、 M_2 、 M_3 の3つへの分岐点および M_1 、 M_2 の2つへの分岐点と R_{4+5} および R_5 脈との間にそれぞれ生じているが、翅の短縮した異常型個体でも同じ位置関係で存在していた。また、翅に形成される模様に関しても同様で、異常型個体の前翅にだけ見られる Sc_2 付近にあるスポット内に横脈 r_1-r_{2+3} (R_1 と R_{2+3} 脈を結ぶ翅脈) が認められ、この横脈の位置関係から、通常個体の緑斑と緑紋帯の融合によってできたスポットであると解釈できる (図4-B)。

考察

シリアゲムシの観察は、その発見の容易さだけでなく、珍奇な形態により興味の対象となりうる点で自然科学の導入として適していた。雄の尾端部は交尾のためであり、一方、口器は、昆虫の体液を吸う場面の観察から、そのための形状で

あることをうかがいしれる。つまり、昆虫全般に共通する体制を持っているが、シリアゲムシを特徴づけている形態は、その生態に不可欠なものであることが分かる。この観察は、進化学の思考につながるもので、まず、昆虫の基本体制の発生システムが成立し、その枠組みの中でさらに生態的に特化してシリアゲムシが成立したのである。進化的には、細長い口器は、吸血性の蚊類の祖先的形質であることが示唆されている (Grimaldi and Engel, 2005)。観察の時期がら、第1化のヤブカ類が吸血に来るので、蚊の針状の口がシリアゲムシに由来することを説明して進化的思考の一助とした。次に、伊勢原産2種に加えて、八ヶ岳山麓では、ツマグロシリアゲ1種が追加された (図3-C)。これもあわせることで、種の多様性をより実感できたものと思われる。同時に、伊勢原と八ヶ岳では、植生などの環境が異なるために、シリアゲムシ以外でも異なる種類に置き換わる例が多々あり、生態系にも多様性のあることの理解につながった。

翅の模様の解析は、いくつかの目的があって選択することにした。翅は、移動性だけでなく、求愛のための性的な目印、さらに隠蔽のための模様など、様々な役割を担うようになっている。昆虫の中でも、蛹を経て幼虫から成虫へと劇的な変化を遂げるタイプの发育様式 (完全変態) では、翅の形状・色彩のバリエーションも大きい傾向にあり、全生物種の大部分を占める昆虫の多様性に寄与しているものと予想される。長翅目昆虫は、完全変態昆虫の始祖と言われるグループのひとつであり、蝶のような色彩豊かなものではないが、翅に斑紋を持ち、アゲハチョウ等に見られる季節による模様の違い (季節的多型) を発現する種類も含まれるなど、翅に着目する価値は十分にある。また、今回の調査で得られた異常型個体は、翅に特徴があったので、これを詳しく調べるためにも、翅の解析が欠かせないと考えた。

まず、プライアシリアゲの個体ごとに異なる翅の模様は、帯や紋がすべて連動しているというより、独立して変化している。つまり、全体的に帯が細まるなどの傾向はあったとしても、4個体の帯・紋の強弱の順序はそれぞれ異なってくる。このような例は、蝶の斑紋解析でも知られており、帯や斑紋の発現の強弱は翅の裏面と表面、前翅と後翅において独立している (Nijhout, 1991)。筆者も、シジミチョウの1種で、表面の青藍色の部分の発達した順序にならべた標本の裏面を

見たときに白い帯の太さはその順番にはなっていないことを確認したことがある(星野, 2009)。ところで、蝶の斑紋形成は、模様を形成するためのエレメント(模様を構成する要素、帯や紋を命名して整理したもの)を設定すれば、各エレメントを変化させること(発現の強弱、消失など)ですべての模様を形成できるというモデルがある(Nijhout, 1995 などに詳しい)。プライアシリアゲとヤマトシリアゲは、翅の模様は一見して異なるが、よく見ると共通した法則性を見出すことが可能である。これに従えば、ツマグロシリアゲは、消失の極端に進んだ例と考えればよいわけである。したがって、シリアゲムシの翅に関しても、帯や斑の各エレメントが提示されており、図 2-B は、これを筆者が整理して図示したものである。このときに、帯や斑は、途切れたり、枝が生じたり、また消失することも想定されうる。このような考え方は、昆虫では、翅だけでなく、交尾器の形態でも頻繁に行われることであり、相同という概念が関わっている。相同は、17 世紀にオーウェンやドイツの詩人ゲーテ等に概念的起源を有し(Müller, 2003)、様々な生物に同じ起源の部分を見出すことは、共通の祖先から変化してきたという進化論に通ずるところがある。

異常型個体の斑紋は、通常個体の斑紋が萎縮した翅脈に沿ってそのまま発現したものと考えられた。例えば、通常個体の右前翅には縁紋帯外枝が縁紋帯から分離して存在しているが、後翅ではそれを欠いている。この通常型個体の斑紋パターンで翅の萎縮が起こったと考えれば、異常型個体の前翅の透明部分が閉じており、後翅では開いていることとつじつまが合うことになる。この異常型の斑紋解析により、翅の模様形成には翅脈による位置情報が重要であることを読み取ることができた。これは、蝶の斑紋が翅脈で囲まれた領域ごとに形成されることに類似しており、長翅目昆虫が進化的に完全変態の起源的地位にあるとすれば翅形成にも起源的な部分が潜んでいる可能性があるだろう。ところで、シリアゲムシの雌は雄の翅の模様を配偶者選択に利用しているとの最近の研究例がある(Hartbauer et al., 2015)。したがって、翅の模様形成が翅脈の位置関係的に厳密である意義がここにも見出されるのかもしれない。ただし、プライアシリアゲのように種内変異のあることから、厳密な翅形成の範囲内で多少の揺らぎが許されていることになる。このことは、前述の種・生態系の多様性に加えて、同種内における遺伝的な

多様性を解説する好例といえる。

今回、新たに鏡紋と翅点にも着目して翅の解析を行った。鏡紋は翅脈の一部の強度を弱くして飛翔時のはばたきに寄与するので (Ennos and Wootton, 1989)、正確な位置に形成されるのは当然であろう。異常型個体も、普通に飛翔していたのは、鏡紋の存在あつてのことであろう。翅点については、長翅目昆虫にも以前から存在が知られているものの (Forbes, 1924)、詳細については研究例を欠いており、唯一、分泌器官ではないかという見解がある (Wang et al., 2014)。これだけの情報から推察するのは危険であるが、翅の機能面から考察を試みたい。まず、配偶行動の初期に翅を震わせ、その振動が、触角にあるジョンストン器官で感知されてコミュニケーションを行うとされている (Byers and Thornhill, 1983)。さらに、先述の翅の模様の配偶行動への関与など、総じて、シリアゲムシにとって翅は飛翔のためだけではなく子孫を残すために必要不可欠なものと考えて差し支えないであろう。これらを考慮すると、翅点由来の分泌物 (ワックス等?) で翅の手入れをしていると推察するのが妥当と思われる。今回のフィールド観察でも、しばしば翅を擦り合わせる場面に遭遇していることもその根拠となりそうである。また、配偶行動に重要なフェロモンや婚姻の贈り物 (餌) が翅点に由来するとは考えにくく、そもそも翅点は雌雄に確認されているので両性に共通した役割であるはずである。ところで、通常個体 (伊勢原グラウンド産) では1つの翅点 (R_5 と M_1 の間) しか確認できていない。しかし、日向薬師産および筆者所有の他産地の同種標本で両方の翅点を確認している。そればかりか、同じシリアゲムシ科ではあるが別グループにも、同じ位置に確認できた。また、翅点は消える場合もあるとの記述があるので、発育時期に左右されることも想定しなければならない。いずれにしても、その役割の詳細の解明が待たれる。一方、翅脈の解析では、通常個体の方に、過剰な翅脈が見出されたので、便宜上 R_{2a} から派生した亜脈 R_{2a-1} および R_{2a-2} として処理した。この亜脈保有タイプは、当該個体特有のものではなく、筆者所蔵標本中の少なくとも6個体に認められ、4枚の翅のうち一部に発現する場合もあったが、稀なタイプとは言えないだろう。今後は、より多くの標本を精査して、産地別の出現頻度ならびに遺伝的背景を考慮する必要があると考えられる。

フィールドにおける長翅目昆虫の観察を通して、自然科学、特に進化・生物多様性の領域の教育と結びついた部分について実例を挙げてきた。一方、報告例に乏しいシリアゲムシの異常型個体を含めた翅の解析は、発生学や遺伝学の学問領域にまで結びついた示唆を与えたといえる。いずれも、自然科学の研究史あるいは思想史を辿るかたちで理解を深めていくこととなった。これは、ゲーテやダーウィンが自然観察から新規概念を想起したことを考えると当然のことといえる。実際に、この2人は昆虫の観察も熱心に行っていたとされるが、このほかにも多くの学者たちがそうであったのは、昆虫が身近で多様な存在であったためと予想される。もちろん、昆虫に限定する必要はなく、今回の実践例もふまえると、フィールド観察は自然科学教育と密接に関わっており、様々なレベルにおいてその意義が改めて示唆されたものといえよう。

謝辞

本稿を執筆するに当たり、短期学外演習と一緒に担当させてくださり、また、有益な助言を与えていただいた成城大学社会イノベーション学部の櫻井一彦教授に深謝いたします。同時に、本稿を執筆する機会を与えていただいた本論集の編集委員会の皆様に感謝いたします。

参考文献

- Byers G. W. and Thornhill R. 1983. Biology of the Mecoptera. *Annual Review of Entomology* 28: 203-228.
- Cheng F. Y. 1957. Revision of the Chinese Mecoptera. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 116: 1-118.
- Ennos A. R. and Wootton R. J. 1989. Functional wing morphology and aerodynamics of *Panorpagermanica* (Insecta: Mecoptera). *Journal of Experimental Biology* 143: 267-284.
- Forbes W. T. M. 1924. The occurrence of *Nygmata* in the wing of insectaholometabola. *Entomological News* 35: 230-232. Plate V.
- Grimaldi D. and Engel M. S. 2005. *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press, New York, USA.
- 池田清彦. 1992. 昆虫のパンセ. 青土社.
- Hartbauer M., Gepp J., Hinteregger K., Koblmüller S. 2015. Diversity of wing patterns and abdomen-generated substrate sounds in 3 European scorpionfly species. *Insect Science* 22:

521-531.

- 星野啓太. 2011. 隠岐諸島島後におけるラミーカミキリの採集記録. 月刊むし 490: 28-29.
- 星野啓太. 2009. 対馬におけるキリシマミドリシジミの採集記録とその翅紋に関する一考察. 長崎県生物学会誌 66: 29-37.
- 穂積俊文. 1979. ラミーカミキリの分布. 月刊むし 103: 3-10.
- 一色周知. 1950. 長翅目. 日本昆蟲圖鑑 (石井悌・内田清之助・江崎悌三・川村多實二・木下周太・桑山覺・素木得一・湯浅啓温 共編). pp. 405-411. 北隆館.
- 宮本正一. 1993. 日本のシリアゲムシ類. インセクトリウム 30: 4-9.
- Müller G. B. 2003. Homology: The evolution of morphological organization. In Müller G. B. and Newman S. A. (eds.) *Origination of organismal form*. Massachusetts Institute of Technology Press.
- Nijhout H. F. 1991. *The development and evolution of butterfly wing patterns*. Smithsonian Institution Press.
- Nijhout H. F. 2001. Elements of butterfly wing patterns. *Journal of Experimental Zoology (Molecular and Developmental Evolution)*, 291: 213-225.
- Wang M., Rasnitsyn A. P., Shih C., Ren D. 2014. A new cretaceous genus of xyelydid sawfly illuminating nygmata evolution in Hymenoptera. *BMC Evolutionary Biology* 14: 131